

# Leak detection nell'industria dei semiconduttori

Giuseppe FAZIO  
*ST Microelectronics*

## SOMMARIO

STMicroelectronics produce componenti elettronici. La produzione di tali componenti passa attraverso la lavorazione dei semiconduttori. Per ottenere un componente elettronico il wafer di silicio subisce diversi step di lavorazione (etch, resists removal, CVD...) che richiedono camere da vuoto.

Il vuoto in questione va dal basso vuoto all'alto vuoto (ordini di grandezza di 1Torr, 100mTorr e 1mTorr) e i leak tipici nel nostro settore vanno da  $10^{-9}$  a  $10^{-8}$  mbar l/s. Tra le diverse tecniche di leak detection, la più diffusa nell'industria dei semiconduttori è l'He leak detection.

Il principale problema che si ha con questa tecnica è l'utilizzo dell'He come gas da rilevare: nel caso di leak lontano dallo stacco o in posizione alta, il leak risulta difficile da individuare. L'He leak detection viene utilizzato durante operazioni di manutenzione, il metodo risulta essere molto accurato ma non è in real time. Un leak durante la lavorazione potrebbe essere deleterio in termini "produttivi": wafers scartati e perdita economica. Per una realtà produttiva risulta molto importante la leak detection in real time. Durante la produzione si usano le seguenti tecniche per il rilevamento di leak in real time e in situ: Rate-of-Rise (ROR), Residual Gas Analysis (RGA), Inductor Couple Plasma (ICP), Optical Emission Spectroscopy (OES).

Metodo ROR: La camera di processo viene portata al vuoto base e isolata. Quindi si misura la velocità di risalita della pressione. Vantaggi: È possibile applicarlo a tutte le camere da vuoto. Svantaggi: la presenza di leak virtuali e i tempi lunghi dell'applicazione del metodo sono i principali problemi riscontrati.

Metodo RGA: installazione di un RGA per il monitoraggio di presenza di H<sub>2</sub> oppure O<sub>2</sub>. Vantaggi: misura diretta del gas caratteristico dei leak; per pressioni minori dei 10mTorr lo strumento risulta essere di dimensioni ridotte, flessibile e con alte prestazioni. Svantaggi: per pressioni maggiori dei 10mTorr lo strumento risulta essere poco adatto all'industria (ingombranti e complicati dal punto di vista mantentivo).

Metodo ICP: viene campionato il gas, ionizzato e analizzato con tecnica ottica monitorando le emissioni caratteristiche degli atomi e delle molecole dovute alla ionizzazione. Vantaggi: flessibilità. Svantaggi: interpretazione spettro.

Metodo OES: viene innescato il plasma nella camera di processo e il gas viene analizzato con tecnica ottica monitorando le emissioni caratteristiche degli atomi e delle molecole dovute alla ionizzazione. Vantaggi: flessibilità. Svantaggi: richiede la presenza del plasma nelle camere di processo.

## Introduzione

STMicroelectronics produce componenti elettronici.

La produzione di tali componenti passa attraverso la lavorazione dei wafers di silicio.

Per ottenere un componente elettronico il wafer di silicio subisce diversi step di lavorazione (etch, resists removal, CVD...) che richiedono camere da vuoto.

Il vuoto in questione va dal basso vuoto all'alto vuoto (ordini di grandezza di 1Torr, 100mTorr e 1mTorr).

La presenza di leak d'aria nelle camere da vuoto potrebbe creare danni dal punto di vista "produttivo": wafers scartati e perdita economica.

Risulta, quindi, importante la leak detection.

In questo lavoro saranno descritte le varie tecniche di leak detection usate nell'industria dei semiconduttori.

## Leak Monitoring

Nell'industria dei semiconduttori monitorare le infiltrazioni d'aria risulta molto importante per ridurre il piu' possibile le contaminazioni.

Nella tabella a fianco sono indicati i valori dei leak tipici che nel nostro settore vanno da  $10^{-9}$  a  $10^{-8}$  mbar l/s.

Vi sono diverse tecniche per effettuare la leak detection.

Nelle figura a fianco vi sono indicate le principali tecniche con i relativi range di applicazioni.

Tabella 1

DENOMINAZIONE	INTERVALLO (mbar)
Basso Vuoto	1013 $\leftrightarrow$ pochi mbar
Vuoto Medio	Pochi mbar $\leftrightarrow$ $10^{-3}$
Alto Vuoto	$10^{-3} \leftrightarrow 10^{-7}$
Ultra Alto Vuoto	$< 10^{-7}$
<b>ISO 3529</b>	

Tabella 2

Item	Leak tightness better than (mbar l/s)	
<b>Systems</b>	UHV systems	$10^{-10} - 10^{-9}$
	"clean" coating plant and like systems	$10^{-5} - 10^{-4}$
	Industrial coating plant and like systems	$10^{-4} - 10^{-3}$
<b>Components</b>	UHV pumps and system components	$10^{-11} - 10^{-10}$
	HV pumps, valves (incl. seat leakage) and system components	$10^{-9} - 10^{-8}$
	Diaphragm valves, backing side components	$10^{-6} - 10^{-5}$
	Rotary motion feedthroughs for process plant	$10^{-5} - 10^{-4}$

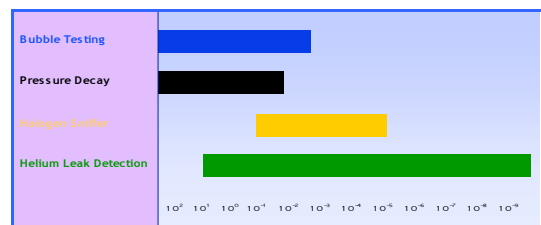


Fig.1: Tecniche per il rilevamento di leak

## L'He leak detection

Tra le diverse tecniche di leak detection, la piu' diffusa nell'industria dei semiconduttori e' l'He leak detection.

La parte principale dell'He leak detector e' lo spettrometro di massa a deflessione magnetica. Lo spettrometro di massa a deflessione magnetica campiona il gas da analizzare, lo ionizza e invia il gas ionizzato in un campo Elettro-Magnetico (EM).

All'interno del campo EM gli ioni subiscono una deflessione che e' proporzionale al rapporto e/m degli atomi o molecole presenti nel gas; quindi sono campionati solo gli ioni che subiscono una determinata traiettoria corrispondente all'atomo di He.

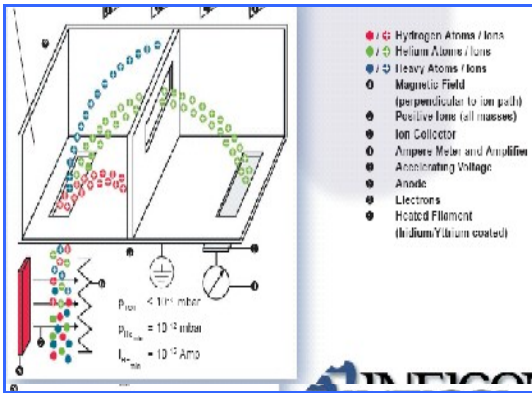


Fig.2: Spettrometro a deflessione magnetica

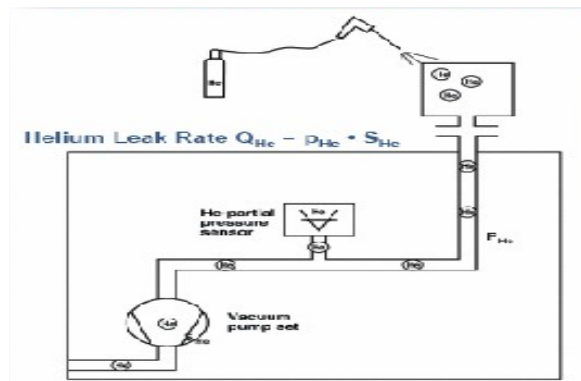


Fig.3: Applicazione del leak detector

Nella Fig. 3 e' indicato lo schema per l'utilizzo del leak detector. Sostanzialmente si applica il sistema da vuoto da monitorare e si spruzza l'He nelle zone incriminate. In presenza di "leak", l'He penetra nel sistema da vuoto e lo spettrometro di massa lo rileva.

L' He leak detector misura la pressione parziale dell'He nella "pump line" e la converte in leak rate.

Il leak rate fornito dallo strumento puo' essere confrontato con un foro utilizzando delle tabelle (Tabella 3) create basandosi sulla legge dei gas ideali  $\Delta(PV) = \frac{RT}{M} \Delta m$

Tabella 3

Diametro	Leak Rate (mbar l/s)
1 cm	10 <sup>4</sup>
1 mm	10 <sup>2</sup>
0.1 mm	10 <sup>0</sup>
0.01 mm	10 <sup>-2</sup>
1 um	10 <sup>-4</sup>
..	
..	
..	
1 A	10 <sup>-12</sup>

L'utilizzo dell'He come gas da rilevare, presenta diversi vantaggi.

I principali sono:

- Basso background: solo 5ppm contenuto nell'aria;
- Non interagisce con altre sostanze;
- "Sicuro": non tossico, non esplosivo, non compustibile;
- Non condensa nell'intero range delle applicazioni;
- Economico;
- .....

L'utilizzo di He pero crea dei problemi nel caso di leak lontano dallo stacco o in posizione alta. In questi casi, infatti, il leak risulta difficile da individuare.

## Leak detection in Real-Time

L'He leak detection viene utilizzato durante operazioni di manutenzione, il metodo risulta essere molto accurato ma non e' in real time.

Un leak durante la lavorazione potrebbe essere deleterio in termini "produttivi": wafers scartati e perdita economica.

Per una realtà produttiva risulta molto importante la leak detection in real time.

Durante la produzione per il rilevamento di leak in real time ed in situ si usano le seguenti tecniche : Rate-of-Rise (ROR), Residual Gas Analysis (RGA), Inductor Couple Plasma (ICP), Optical Emission Spectrosopy (OES).

### Metodo ROR

La camera di processo è portata al vuoto base e isolata.

Si misura, quindi, la velocità di risalita della pressione.

La velocità di risalita della pressione risulta essere proporzionale al flusso di gas che entra in camera (vedi Fig. 5).

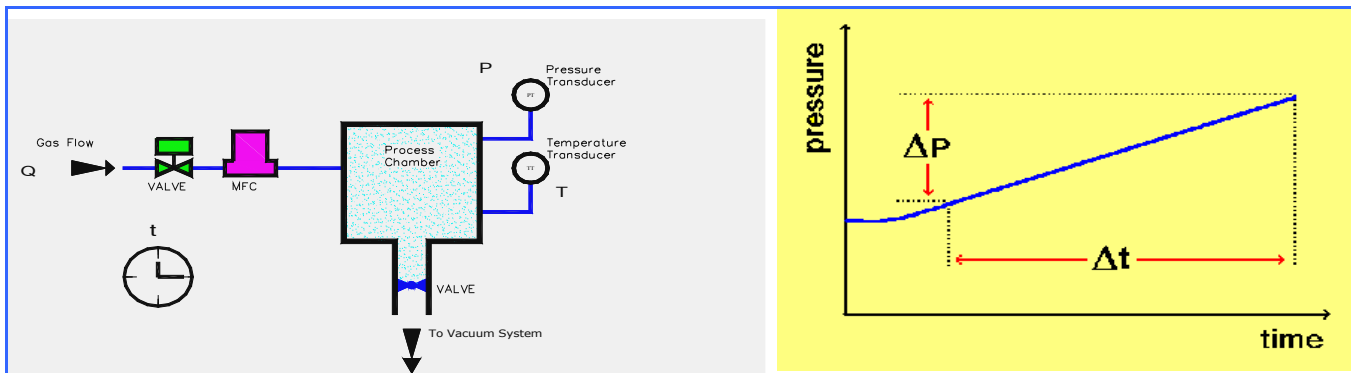


Fig.4: Metodo Rate-of-Rise

$$\frac{PV}{T} = nR \Rightarrow P = \left( \frac{RT}{V} \right) n \quad \Rightarrow \quad \frac{\Delta P}{\Delta t} = \left( \frac{RT}{V} \right) Q$$

Legge gas ideali
Leak flow (air leak)

Fig.5: Base teorica del metodo ROR

L'intensità della perdita, noto V, viene determinata semplicemente moltiplicando V per la velocità di salita della pressione.

Vantaggi: E' possibile applicarlo a tutte le camere da vuoto.

Svantaggi:

- presenza di leak virtuali;
- misura dipendente da T, V e P;
- tempi lunghi dell'applicazione del metodo.



- misura diretta del gas caratteristico dei leak;
- per pressioni minori dei 10mTorr lo strumento risulta essere di dimensioni ridotte (vedi Fig. 8), flessibile e con alte prestazioni.

Svantaggi:

Per  $P > 10$  mTorr lo strumento risulta essere poco adatto all'industria: ingombrante e complicato dal punto di vista manutentivo.

### Metodo ICP

Anche in questo caso si tratta di un analizzatore di gas.

Infatti, questa metodologia prevede l'installazione di un ICP per il monitoraggio di presenza di  $H_2$  oppure  $O_2$ .

Il principio di funzionamento dell'ICP e' il seguente:

il gas viene campionato, ionizzato e analizzato con tecnica ottica monitorando le emissioni ( $\lambda$ ) caratteristiche degli atomi e delle molecole dovute alla ionizzazione.

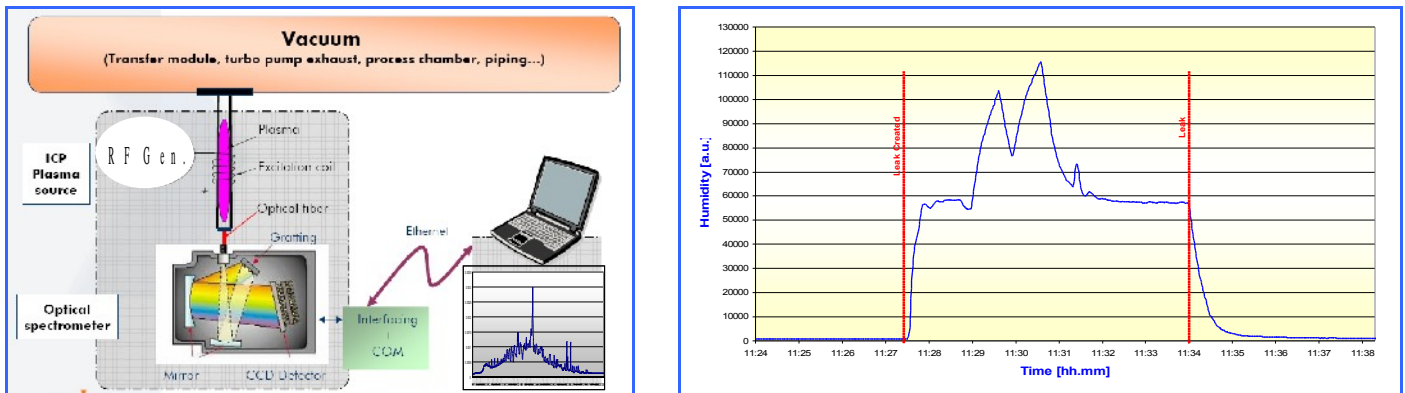


Fig.9: Schema di un ICP ed esempio di rilevamento presenza leak

Vantaggi: flessibilita.

Svantaggi: range di pressione limitato e interpretazione spettro.

### Metodo OES

Metodologia analoga alla precedente che prevede l'installazione di un OES nelle camere da vuoto e anche in questo caso è monitorata la presenza di lunghezze d'onda ( $\lambda$ ) caratteristiche.

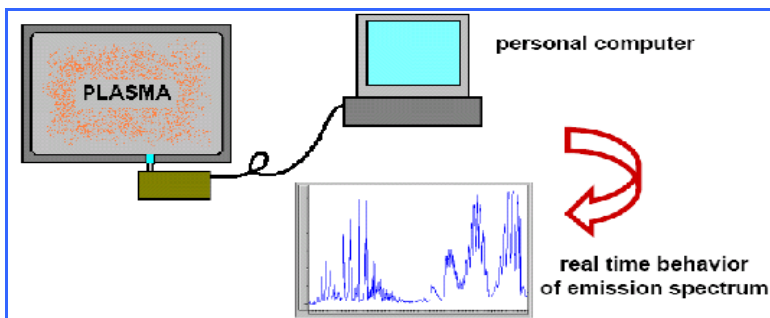


Fig.10: Schema d'implementazione della metodologia OES

**A very small insertion of N<sub>2</sub> in a fluorocarbon based plasma generates the CN molecule**

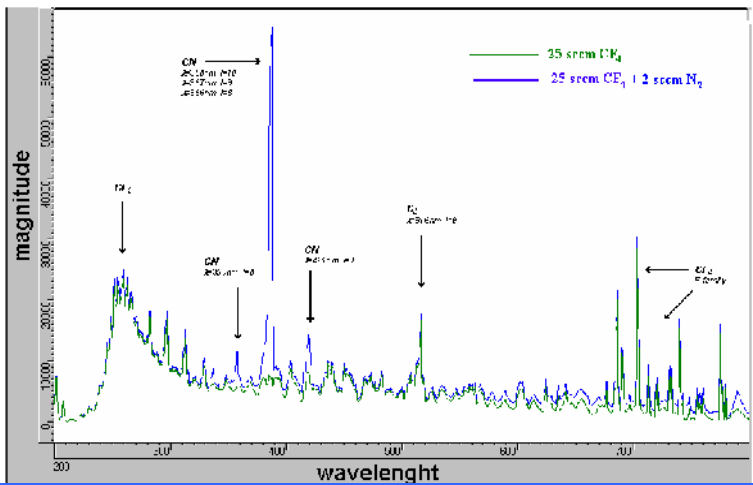


Fig.11: Esempio di monitoraggio presenza leak

Principio di funzionamento: viene innescato il plasma nella camera di processo e il gas viene analizzato con tecnica ottica monitorando le emissioni caratteristiche degli atomi e delle molecole dovute alla ionizzazione.

Vantaggi: flessibilita'.

Svantaggi: richiede la presenza del plasma nelle camere di processo.

### Conclusioni

Nell'industria dei semiconduttori il monitoraggio delle infiltrazioni d'aria nelle camere da vuoto e' un aspetto molto importante per la riduzione della contaminazione.

La tecnica piu' diffusa e' l'He leak detector che risulta essere molto flessibili.

L'He leak detector viene utilizzato durante operazioni di manutenzione, il metodo risulta essere molto accurato ma non e' in real time.

Un leak durante la lavorazione potrebbe essere deleterio in termini "produttivi": wafers scartati e perdita economica.

Per una realta' produttiva risulta molto importante la leak detection in real time.

Durante la produzione per il monitoraggio di leak in real time ed in situ si usano le seguenti tecniche: Rate-of-Rise (ROR), Residual Gas Analysis (RGA), Inductor Couple Plasma (ICP), Optical Emission Spectroscopy (OES).